

DETERMINAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA O CONTROLE DA POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

* Luiz Paulo Machado Poppe
* João Ciarrocchi Lopez
** Francisco Inácio Negrão

* Engenheiros da Divisão de Estudos de
Águas Subterrâneas — CETESB
** Geólogo da ENCO

INTRODUÇÃO

A Região de Ribeirão Preto, situada no extremo nordeste do Estado de São Paulo, abrange uma área de cerca de 35.000 km² e está compreendida entre as longitudes 47°00' e 49°15' oeste, e latitudes 20°00' e 22°15' sul. Compreende 80 municípios agrupados em 7 sub-regiões, com uma população aproximada de 1.500.000 habitantes. Na Figura 1 apresenta-se a situação geográfica da região dentro do Estado.

Três grandes aquíferos se encontram na região:

- O aquífero Botucatu (Pirambóia) é o maior e mais importante como fonte de água;
- O aquífero Basáltico: Formação Serra Geral;
- O aquífero dos sedimentos superiores da Formação Bauru.

As quantidades potenciais de água subterrânea, ou seja, disponíveis e que podem ser aproveitadas por meios convencionais, são muito grandes, tendo sido estimadas em cerca de 3,8 bilhões de metros cúbicos por ano. O atual aproveitamento dessa água constitui apenas 1,5% do potencial calculado para a região.

Foram elaboradas previsões de demanda de água para os três setores de consumo: urbano, industrial e agrícola. De acordo com essas premissas, o consumo urbano e o industrial, juntos, atingirão, em 1985, 220 milhões de metros cúbicos por ano (m.m.c./a.) e, no final do século, 470 m.m.c./ano. Essas cifras constituem valores selecionados de uma faixa bastante ampla de previsões e se destinam tão somente a indicar a ordem de grandeza da demanda de água desses setores no futuro. Segundo uma estimativa preliminar, ao final do século a área irrigada poderá atingir cerca de 150 a 200 mil hectares e a quantidade de água necessária para sua irrigação poderá chegar a 1.200 m.m.c./ano.

CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em estudos sobre qualidade das águas subterrâneas, uma distinção deve ser feita entre dois tipos de fontes de poluição resultantes de resíduos líquidos ou sólidos dispostos sobre os solos que cobrem os aquíferos:

- Fontes pontuais;
- Fontes dispersas.

O primeiro tipo pode ser caracterizado como sendo, uma alta variedade e/ou quantidade de poluentes dispostos em uma pequena área da superfície; dessa maneira sua concentração nas águas de recarga pode ser profundamente acentuada.

A velocidade de penetração dos poluentes, até o nível estático, pode ser muito grande dado a quantidade de água a se infiltrar em área relativamente pequena. Porém o volume de águas subterrâneas que entra em contato com o poluente é relativamente pequeno e a poluição pode ser detida com tratamento adequado. Pode-se citar como fontes pontuais: lixões, estocagem de produtos químicos, unidades industriais, concentração de

despejos para tratamento ou infiltração, etc.

As fontes poluidoras dispersas são caracterizadas por abrangerem grandes áreas, com uma pequena quantidade de poluentes afetando um grande volume de águas subterrâneas. Neste caso há de se considerar a pequena velocidade de migração dos poluentes dispersos, em direção ao lençol freático. Entretanto, a quantidade de água envolvida no processo poluidor é grande e, na verdade pode comprometer todo o volume do aquífero e tornar o processo irreversível.

Como exemplo desse tipo de fonte tem-se: fertilizantes, pesticidas, etc. aplicados na agricultura, quando esta é dispersa em área (como é o caso da região em estudo), e a própria pecuária, que no Brasil é desenvolvida segundo o sistema não confinado, ou seja, de pastagens naturais.

PRINCÍPIOS BÁSICOS DO ESTUDO

A planificação para um estudo da poluição das águas subterrâneas está baseada numa macro-avaliação das fontes de poluição nas zonas de exploração presente e futura, incluindo avaliação da auto-depuração do solo e o efeito dos poluentes sobre a qualidade de das águas subterrâneas. Esta macro-avaliação permite que, nas áreas críticas estabelecidas, seja elaborada uma análise mais detalhada (escala micro), dos efeitos das fontes de poluição, ou seja, estudos de campo são realizados nas áreas selecionadas, a fim de verificar as suposições teóricas preliminares, assim como possibilitar o aprofundamento da pesquisa e melhoria das avaliações.

Dentro deste espírito, foram considerados 3, os principais critérios com o propósito da seleção das áreas críticas, ou seja, as áreas de maior prioridade para uma tomada de posição, frente a problemas presentes e futuros de poluição das águas subterrâneas: tempo de percurso do poluente até o aquífero, existência de fontes principais de poluição e exploração das águas subterrâneas (sua demanda atual e projeções futuras).

O objetivo do presente trabalho foi concentrado na determinação da interdependência dos principais fatores citados acima, que contribuem para o estabelecimento de áreas críticas.

MAPEAMENTO E "GRID" BÁSICO

Elaborou-se, para limitar o modelo matemático de balanço hidrológico, que integra parâmetros como chuva, recarga, escoamento superficial e exploração da água subterrânea dos aquíferos livres da região, uma malha de células "Grid" abrangendo toda a área de estudo.

Adotou-se uma malha regular, com linhas de latitude e longitude, coincidentes com as coordenadas UTM - Projeção Universal Transversa de Mercator, com um total de 1.543 células iguais. Cada célula possui aproximadamente 25 km² e dentro do modelo matemático adotado é considerada única, ou seja, não recebe influência de outras células vizinhas, quanto aos processos hidrogeológicos ocorrentes.

Na Figura 1, em anexo, tem-se um mapa geológico da região, associado ao "Grid" adotado como base do modelo matemático.

CRITÉRIOS BÁSICOS PARA SELECIONAMENTO DE ÁREAS CRÍTICAS

Para se avaliarmos problemas de poluição das águas subterrâneas, numa região previamente escolhida para essa finalidade, certos tipos de informações são necessárias. Estas informações consistem no conhecimento qualitativo e quantitativo sobre a emissão de poluentes a partir das fontes potenciais, assim como do sistema hidrogeológico da área em estudo.

A combinação desses fatores permitem, de acordo com a metodologia, a avaliação qualitativa e quantitativa da poluição das águas subterrâneas, e também coordenar o desenvolvimento de um plano de exploração dos aquíferos produzindo subsídios para a tomada de decisões quanto ao controle da poluição em áreas consideradas críticas.

De acordo com essas concepções e diretrizes foram adotados 3 critérios específicos e principais, com vistas a seleção das células, consideráveis críticas do ponto de vista da poluição das águas subterrâneas:

- a. Tempo de trânsito do poluente até o aquífero através da camada não saturada. (Esse tempo caracteriza a capacidade purificadora dessa camada e é denominado critério T);
- b. Existência de fontes principais de poluição e avaliação quantitativa das cargas dos poluentes, assim como o comportamento do poluente, tanto para fontes pontuais quanto dispersas. (A combinação dos efeitos das fontes de poluição fornece o critério P);
- c. Utilização da área para exploração presente e futura da água subterrânea subterránea. (Fornecendo o critério E).

SELEÇÃO DOS VALORES NUMÉRICOS PARA OS CRITÉRIOS BÁSICOS (TPE).

Para cada um dos critérios selecionados (TPE), três graus de perigo de poluição (1, 2 e 3) foram determinados, baseados nos dados obtidos a partir das análises efetuadas separadamente para cada um deles. Para o critério T, foi calculado o tempo de trânsito da água em cada célula do modelo; para o critério P foi avaliado o grau de poluição a que cada célula está submetida individualmente e para o critério E, estabeleceu-se a qualidade da exploração atual e futura na célula considerada.

- a. Tempo de trânsito da água (T)

O tempo de trânsito T_w foi calculado, considerando dados hidrogeológicos e modelos de fluxo supostos na camada não saturada, resultando num valor de tempo de trânsito para cada célula do modelo regional. Atravessando a camada não saturada, os poluentes da água podem sofrer uma série de processos físicos, químicos e biológicos que podem provocar sua decomposição parcial ou completa.

O tempo de trânsito tem influência sobre a eficiência desses processos e sobre o tempo, a partir do qual o aquífero começa a poluir-se. São estas as razões da utilização do tempo de trânsito como um critério de risco para a poluição da água subterrânea.

Para isso elaborou-se um programa de computador, onde T_w foi calculado pela seguinte equação:

$$T_w = (CT - NE) \times \theta / (CH \times RFC) \quad \text{onde:}$$

CT = Cota Topográfica;

NE = Nível Estático;

CH = Precipitação Pluviométrica;

RFC = Coeficiente de Recarga;

θ = Teor de Umidade Natural.

Para os efeitos deste estudo, três graus de risco de poluição foram estabelecidos de acordo com o tempo de trânsito do poluente até o aquífero, através da camada não saturada:

Grau 1 - T_w menor que 5 anos;

Grau 2 - T_w entre 5 e 15 anos;

Grau 3 - T_w maior que 15 anos.

Os limites dos valores escolhidos na Região Administrativa nº 6 para cada grau, são relativamente baixos devido ao caráter da poluição ser basicamente orgânica e o tempo de decomposição menor do que no caso da poluição predominante ter origem em despejos industriais. Os valores absolutos do tempo de trânsito foram determinados a partir de dados de recarga em condições naturais e podem ser relacionados às fontes difusas, porém excluem-se as condições de percolação da água em fontes pontuais (onde o tempo de trânsito é menor). As condições relativas às fontes pontuais são calculadas separadamente e foram incorporadas nas avaliações de risco, através do parâmetro P.

- b. Fontes de poluição (P)

A importância de definir as fontes de poluição e o comportamento dos poluentes,

quando os riscos de poluição são analisados, é óbvia, e pode ser considerada como sendo o "critério mais ativo".

Desta forma, uma tentativa foi feita para desenvolver aproximação quantitativa, antes mesmo da qualitativa, quando se avaliou o efeito das fontes de poluição sobre as águas subterrâneas.

O poluente principal na região, distribuído principalmente na forma difusa, é o nitrogênio. Este nitrogênio é proveniente dos resíduos da agropecuária, esgotos domésticos não coletados e como um constituinte parcial de fertilizantes.

Foi realizado o balanço de nitrogênio com base em células (programa de computador NITROBAL) fornecendo o valor provável da concentração de nitrogênio em cada célula do modelo.

Quando a concentração de nitrogênio no aquífero, em cada célula, é conhecida, um índice de poluição é calculado. Este índice baseia-se na influência da concentração de nitrogênio causada pelas fontes difusas e no número de fontes pontuais de poluição em cada célula do modelo.

No primeiro caso o índice de poluição é calculado baseando-se em dados de concentração de nitrogênio em cada célula e recebe o valor de dez (10) vezes a concentração de nitrogênio na célula. Por exemplo: se a concentração em nitrogênio numa certa célula é de 8 mg/l, o valor do índice será 80.

No segundo estágio o valor do índice é aumentado de 10 para cada fonte pontual de poluição localizada na célula em estudo. Por exemplo: se o valor do índice, baseado na concentração de nitrogênio, é 80 e a célula contém duas fontes pontuais de poluição como indústrias, o índice toma o valor de $(80+2 \times 10=100)$. Depois deste estágio, o índice alcança seu valor final e três graus de perigo de poluição (1, 2 e 3) são estabelecidos, de acordo com o valor numérico do índice de poluição, como segue:

Grau 1 - Valor de índice maior que 100;

Grau 2 - Valor de índice entre 80 e 100;

Grau 3 - Valor de índice menor que 80.

c. Exploração da água subterrânea (E).

Fundamentado nos estudos realizados, bem como na prática e nas tendências atuais e futuras de utilização dos aquíferos, foram definidos três graus de risco de poluição como base para o critério (E); exploração da água subterrânea:

Grau 1 - Células nas quais a água subterrânea é utilizada no presente (poços em operação), ou células contendo cidades dentro dos seus limites;

Grau 2 - Células localizadas na vizinhança próxima de células que contêm cidades;

Grau 3 - Todas as outras células.

A introdução do critério, áreas de exploração previstas, foi feita pois achou-se que, nas áreas onde não existem planos para exploração da água subterrânea, mesmo em futuro remoto os riscos de água subterrânea poluída existem, apesar de se apresentarem atualmente em menor importância. Decidiu-se então, considerar todas as áreas localizadas a uma distância entre 5 a 10 km de qualquer cidade e que não possuam ainda poços, como áreas potenciais para perfuração futura. Consequentemente foram consideradas zonas de exploração de segundo grau. Esse critério tem como base experiências comprovadas de que até uma distância de 10 km da cidade, é ainda economicamente viável, perfurar poços e transportar a água para a cidade, ao invés de utilizar água superficial, a qual necessita estação de tratamento.

As células, onde há ausência de poços e de cidades nela localizadas, assim como nas suas vizinhanças, foram consideradas células cuja probabilidade de uma exploração da água subterrânea é mínima, resultando num baixo nível de risco, do ponto de vista do uso da água subterrânea.

METODOLOGIA DA SELEÇÃO DAS CÉLULAS CRÍTICAS

Cada um dos três critérios TPE recebe em cada célula um só valor dentre três, ou seja: o valor do número TPE em cada célula possui um só valor dentre $3^3 = 27$ valores, diferentes possíveis.

Cada um dos 27 números TPE, tem um significado diferente do ponto de vista da poluição. Os 27 números, foram divididos em quatro grupos de prioridades.

Cada grupo contém parte dos 27 números. E, em todos os números, cada um contém um grau semelhante de risco de poluição da água subterrânea.

Após o estabelecimento dos valores de risco para um dos três valores TPE em cada célula de acordo com as considerações anteriormente mencionadas, cada célula foi classificada para um dos quatro grupos de prioridade de risco de poluição.

A classificação em grupos de prioridades foi baseada nos seguintes princípios:

Grupo de primeira prioridade - inclui células nas quais o critério P (critério principalmente ativo) toma o valor 1 (primeiro grau de risco) e os outros dois critérios tomam, pelo menos, o valor de 2 (i.e. 1 ou 2), ou seja, valor de segundo grau. Essas células são consideradas como de risco de primeira ordem devido ao critério P possuir um peso maior que os outros recebendo o valor de risco de primeira ordem e os outros de, pelo menos, segunda ordem. A situação total é considerada risco de primeira prioridade. Os valores de TPE para células que são incluídas nesse grupo são: 111, 112, 211, 212.

Grupo de segunda prioridade - inclui células nas quais o critério P toma o valor 2 (segundo grau de risco) e os outros dois tomam pelo menos, o valor de 2. Os valores de TPE para células que são incluídas nesse grupo, são: 122, 221, 121, 222.

Grupo de terceira prioridade - inclui células nas quais o critério E toma o valor 3 e os outros dois 1 ou 2. Esse grupo se traduz como de baixa prioridade, devido a que, nesse tipo de célula, a água subterrânea pode se tornar poluída, porém não existem planos futuros para exploração de água. Contudo se os planos de exploração forem mudados, a qualquer tempo no futuro, a exploração nessas áreas pode incorrer em algum risco. Os valores de TPE para células incluídas nesse grupo, são: 113, 123, 213, 223. Todas as outras células que não são incluídas em nenhum dos grupos de prioridade descritos, (em que, pelo menos, um dos valores de critério toma o valor 3) pertencem ao grupo de quinta prioridade e, não foram consideradas células, contendo qualquer nível de risco do ponto de vista da poluição da água subterrânea.

Os cálculos, classificação das células em grupos prioritários e representação dos resultados na forma de semi-mapas, foram feitos usando o programa de computador TPE.

Esse programa produz um semi-mapa que contém os valores dos três critérios em cada célula, aparecendo como um número de três dígitos para cada célula. O primeiro é o valor do critério T, o segundo P e o terceiro o valor do critério E (por exemplo 121, 333, etc).

A classificação de todas as células do modelo para grupos de prioridade é realizada também pelo programa TPE, resultando num semi-mapa no qual as células do grupo de primeira prioridade, a palavra "MAX" está impressa. Nas células do grupo de segunda prioridade a palavra "ALTA" está impressa e nas células do grupo de terceira prioridade a palavra "BAIX" está impressa.

O trabalho de seleção anteriormente mencionado foi feito de forma tabular em justa posição para cada célula do modelo. Os dados de T_w (tempo de trânsito da água), o grau de atividades poluidoras e o grau da exploração das águas subterrâneas foram fornecidas ao computador que preparou semi-mapas contendo resultados para todas as células da rede estabelecida. A Figura 2 consiste em uma semi-mapa da avaliação quantitativa da poluição por célula do modelo. Esse semi-mapa traz impresso em cada célula uma combinação dos 3 dígitos TPE que geraram a criticabilidade dessa célula.

Na Figura 3 é apresentado um semi-mapa geral da região em estudo, no qual as células do grupo de primeira prioridade, a palavra "MAX" está impressa. Nas células do grupo de segunda prioridade a palavra "ALTA" está impressa e nas células do grupo de terceira prioridade a palavra "BAIX" está impressa.

O semi-mapa da Figura 3 anterior foi sobreposto a um mapa da região contendo o "Grid" de células. Dessa sobreposição surgiu um mapa de áreas críticas à poluição na re

BIBLIOGRAFIA

POLASRI - 1980 - Poluição de Recurso Água, Projeto Ribeirão Preto, Relatório de Andamento 2 - 2.

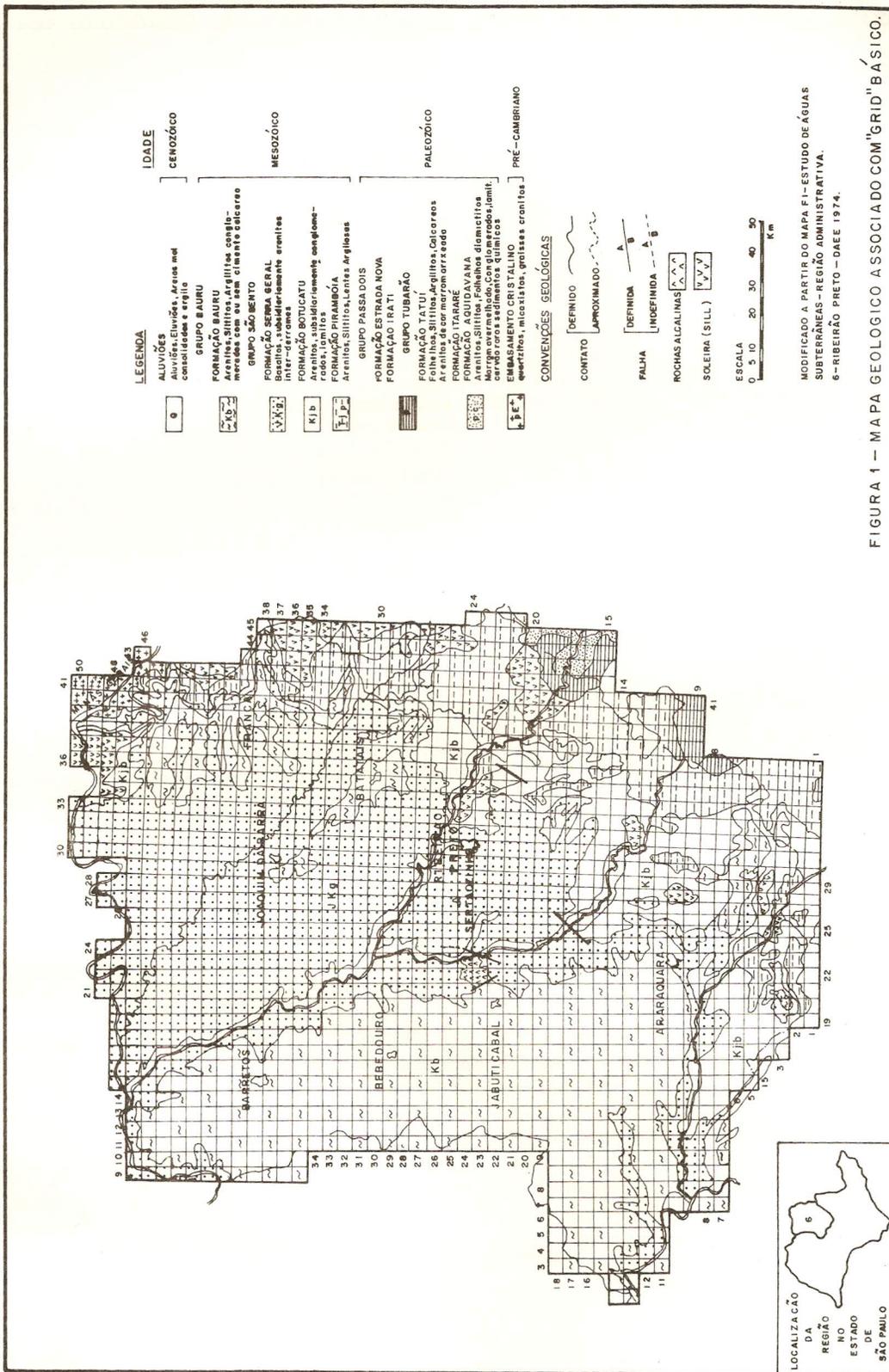


FIGURA 1 - MAPA GEOLÓGICO ASSOCIADO COM "GRID" BÁSICO.

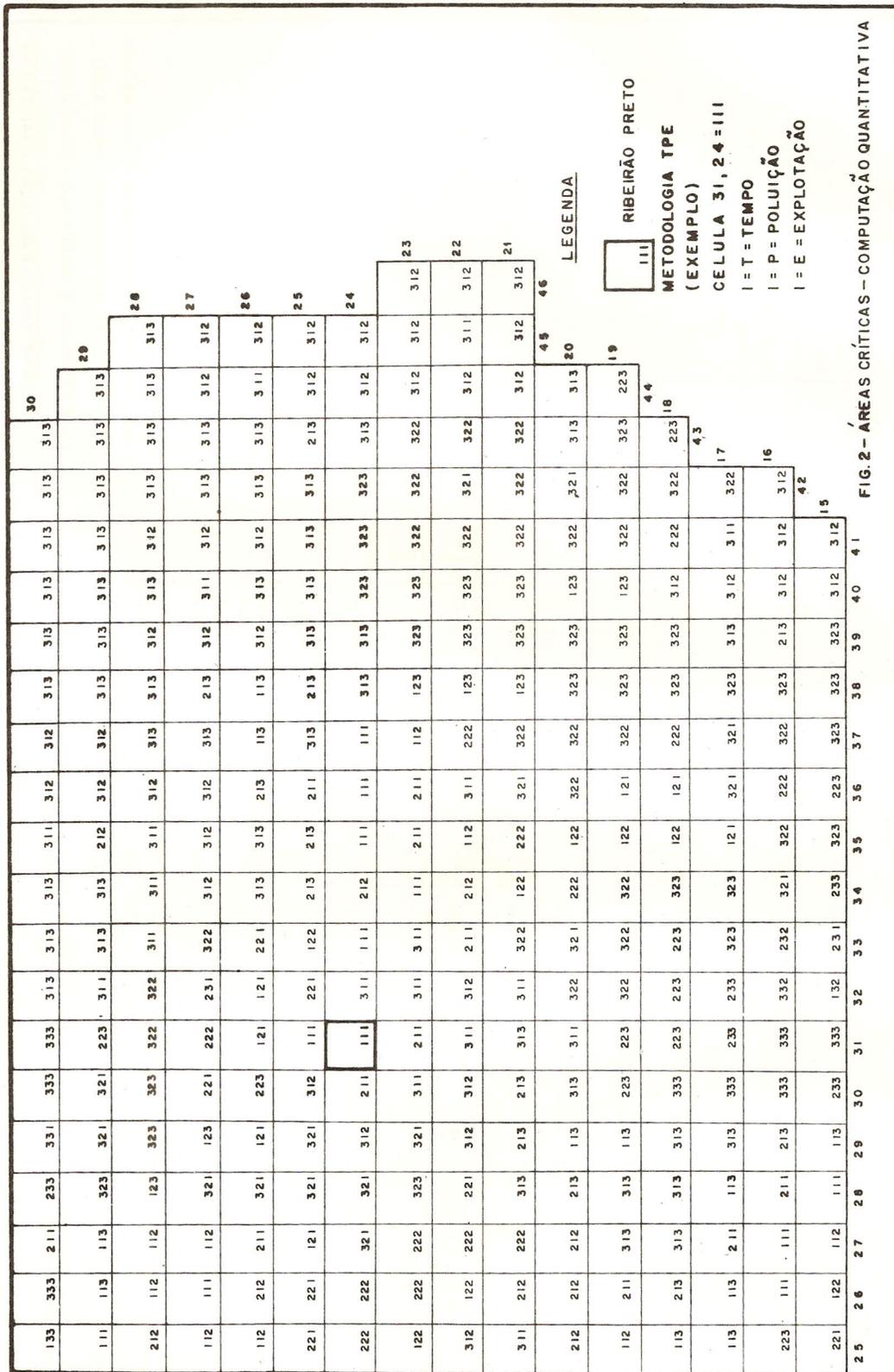


FIG. 2 - ÁREAS CRÍTICAS - COMPUTAÇÃO QUANTITATIVA

